

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до проведення лабораторних робіт
з дисципліни

ТЕПЛОТЕХНІКА

*(для студентів 3 курсу денної форми навчання напрямку 6.060101 "Будівництво"
спеціальності "Міське будівництво і господарство")*

Харків
ХНАМГ
2012

Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з дисципліни "Теплотехніка" (для студентів 3 курсу денної форми навчання напрям 6.060101 "Будівництво" спеціальності "Міське будівництво і господарство") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Д. О. Шушляков. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 26 с.

Укладач: доц. Д. О. Шушляков

Рецензент: доц. О. О. Алексахін

Затверджено на засіданні кафедри Теплохолодопостачання,
протокол № 6 від 15 квітня 2009 р.

Лабораторна робота №1

Засоби виміру температури

Мета роботи: вивчити основні прилади, які застосовуються для виміру температури.

Абсолютною температурою тіла називають міру інтенсивності теплового руху молекул. Температура характеризує ступінь нагрітості тіла, що визначає напрямок передачі теплоти. Абсолютна температура є термодинамічним параметром і вимірюють її в Кельвінах (К). Абсолютна температура є величиною завжди позитивною.

У техніці прийнята шкала Цельсія ($^{\circ}\text{C}$), при якій за $t=0^{\circ}\text{C}$ прийнята температура танення льоду при нормальному тиску. Зв'язок між шкалою Кельвіна і Цельсія виражають наступною залежністю:

$$T=t+273,15. \quad (1)$$

У зв'язку з тим, що практично неможливо безпосередньо виміряти кінетичну енергію молекул, температуру вимірюють побічно за допомогою різних термометричних пристроїв (термометрів).

Для виміру температури використовують наступні види приладів: термометри розширення, манометричні термометри, термометри опору, термопари, термістори, термографи.

Рідинні й газові прилади для виміру температури

Термометри розширення

Дія цих приладів засновано на властивості робочих тіл – рідини, що повнює термометр (звичайно ртуті, спирту, толуолу) розширювати свій об'єм у залежності від температури.

Термометри розширення масово використовують в лабораторній практиці, у промисловості. Межі застосування термометрів залежать від властивостей робочої рідини і скла, з якого вони виготовлені. Звичайне скло має температуру плавлення 550°C , кварцове – близько 800°C . Температура затвердіння ртуті – $38,87^{\circ}\text{C}$, а кипіння – 357°C . Для збільшення меж виміру обсяг над капіляром заповнюється азотом, чи іншими газами під тиском. Температура затвердіння

спирту – 114°C . Звичайно спиртові термометри використовують у діапазоні температур від -65°C до $+50^{\circ}\text{C}$, а ртутні – від -30°C до $+500^{\circ}\text{C}$.

Термометри розширення поділяють на:

- *технічні* з ціною кроку шкали $0,5$; 1 і $2,5^{\circ}\text{C}$ з різним діапазоном шкал;
- *нормальні (зразкові)* з ціною кроку шкали $0,1^{\circ}\text{C}$ при довжині шкали 50°C (існують межі виміру температури: від -30°C до $+20^{\circ}\text{C}$; від 0°C до $+50^{\circ}\text{C}$; від $+50^{\circ}\text{C}$ до $+100^{\circ}\text{C}$ і т.д. до $+350^{\circ}\text{C}$);

- *електроконтактні термометри* – призначені для регулювання температури в межах від -35°C до $+500^{\circ}\text{C}$, застосовують як первинні прилади (датчиків); виготовляють двох типів – ТЗК для сигналізації і підтримки заданої температури і ТПК для сигналізації і підтримки будь-якої температури в межах, що установлені для даного термометра;

- *психрометричні* – застосовують в приладах, що вимірюють вологість повітря; мають ціну кроку шкали $0,2^{\circ}\text{C}$ й довжину шкали від -30°C до $+20^{\circ}\text{C}$.

Існують й інші типи термометрів розширення, які не розглянуті в даній роботі.

Достоїнства термометрів розширення – надійність і висока точність виміру. *Недоліки* – зазначені прилади, як правило, не здійснюють дистанційної передачі даних про вимірювану температуру.

Манометричні термометри.

Робота цих приладів заснована на зміні тиску чи рідини газу в залежності від температури. Зміну тиску реєструє манометр, що має температурну шкалу.

Манометричний термометр складається з термобалона, капілярної трубки, трубчастої манометричної пружини, тяги, чи стрілки пишучого пера приладу, знімного штуцера з чепцевим ущільненням.

Термобалон, капілярна трубка і трубчаста пружина складають замкнуту систему робочої речовини, в якості якої застосовують ртуть, метиловий спирт, толуол, ксилол, різні інертні гази. Відповідно ці прилади поділяють на рідинні, газові й парові.

Термобалон за допомогою штуцера кріплять на трубопроводі із середовищем, температуру якого треба вимірити. Зміна тиску робочого тіла в термобалоні через капілярну трубку передається трубчастій пружині, що зв'язана тягою чи стрілкою з самописним пером приладу. Шкала манометра градуйована в °С.

Манометричні термометри допускають передачу даних на відстань до 60 м, прості в поводженні, але мають невисоку точність виміру.

Їх також використовують як елемент регуляторів температури прямої дії РТ, що складається з термосистеми й односідельного регулюючого клапана із сильфонним приводом. Промисловість випускає самописні манометричні термометри ТГ-410 із приводом діаграми від годинникового механізму.

Електричні датчики температури

Електричними датчиками температури можуть служити термометри опору, термопари, термістори. Усі вони є датчиками температури, які включають до електричного ланцюга контрольно-вимірювальних приладів, що показують, чи самописні, а також регуляторів температури.

Термометри опору

Термометри опору – це електричні опори спеціальної конструкції, що змінюють свою провідність у залежності від температури (чим вище температура, тим нижча провідність). Вони дозволяють вимірювати температуру з високою точністю (до 0,2°С) і передавати показання на великі відстані. Найчастіше в термометрах опору застосовують платину (тип ТСП), чи мідь (тип ТСМ), в яких ця властивість більш виражена.

Конструкція термометра опору зображена на рис. 1. Чутливий елемент 1 термометра являє собою намотаний на керамічний каркас дріт. Кінці дроту приварені до виводів, що з'єднані з трижильним кабелем, а каркас поміщений у латунну трубку; дріт ізольований від латунної трубки ізоляційною плівкою. Чуттєві елементи в обох термометрах засипають керамічним порошком і герметизують спеціальною замазкою. Спеціальне закладення кабелю не допускає проникнення води всередину термометра.

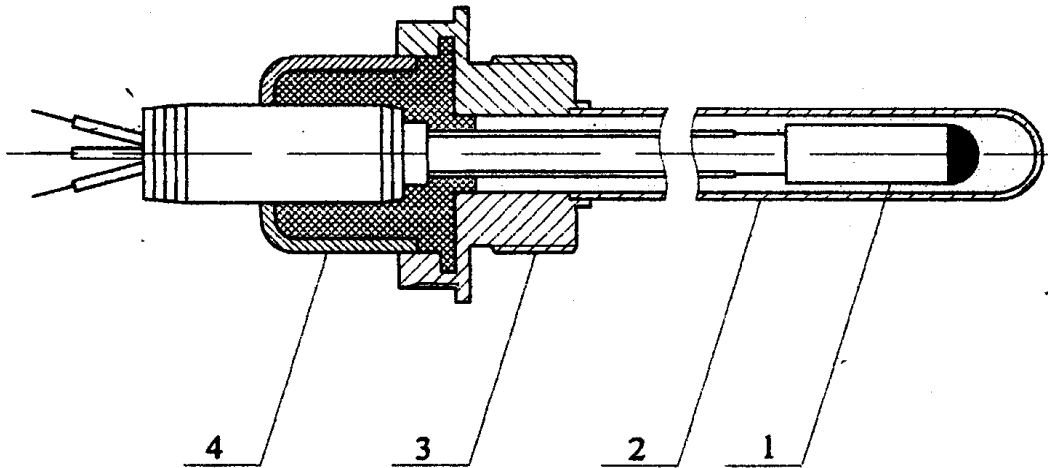


Рис. 1 - Конструкція термометра опору:

- 1 - чутливий елемент;**
- 2 - захисна арматура;**
- 3 - штуцер;**
- 4 - ковпачок**

За призначенням ці прилади поділяють на: заглибні для виміру температури в каналах і трубопроводах (виготовлені зі штуцером) та для контролю температури повітря в приміщеннях (виготовлені в спеціальному кожусі).

Звичайно стандартні прилади виготовляють так, щоб їхній електричний опір при 0°C приблизно дорівнював 50 Ом чи 100 Ом. При цьому зміна температури на 1°C приводить до зміни опору котушки термометра на 0,213 чи 0,425 Ом. Визначення температури термометром опору зводиться до виміру його електричного опору, для чого використовують урівноважені і неуврівноважені мости, логометри і потенціометри.

Термометри опору входять до складу електронних регуляторів температури середовища, їх можна використовувати в системах централізованого контролю і управління, приєднувати до приладів, що записують зміну електричного опору з температурною шкалою. Для запису показань до одного приладу можуть підключатися до 24 термометрів опору. Клас точності цих приладів складає 0,5, тобто забезпечує вимір з точністю 0,5%.

Термопари (термоелектричні термометри)

Їхня дія заснована на виникненні термоелектрорушійної сили в місці з'єднання двох провідників з різнорідних металів при зміні температури спаю, що занурюється у вимірюване середовище.

Термопара (рис. 2) є чутливим елементом приладу, називаного термоелектричним термометром, що складається з термопари і приєднаного до неї електровимірювального приладу – мілівольтметра чи потенціометра.

Термопара складається з двох термоелектродів А й В, кінці яких, з'єднані між собою за допомогою зварювання (чи скрутки), утворюють робочий спай 1, що поміщається в середовище, температуру якого треба вимірити. До других кінців електродів 2 і 3, виведеним за межі контрольованого середовища в простір з відомою температурою, підключаються проводи 4 і 5, що йдуть до мілівольтметра Мв. При сталості температур неробочих спаїв 2 і 3 термічна електроорушійна сила (ЕРС), що діє в ланцюзі "термопара – мілівольтметр", буде залежати тільки від температури робочого спаю.

При використанні термоелектричного термометра в реальних умовах, температура неробочих (холодних) кінців термопари має триматися постійною. У випадку, якщо вона відмінна від 0°C, в показання термометра мусить вноситися виправлення на температуру неробочих спаїв.

Термопари конструктивно можуть бути зварними, спаяними, скрученими і з електричним покриттям, виконаними у вигляді крапкових термопар, термопарних батарей, платівок з підпаяними термопарами, термошупів і т.д.

Для визначення стандартних характеристик і меж вимірів різних термопар складаються спеціальні таблиці характеристик термопар (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристика стандартних термопар

Види термопар	Умовне позначення	Межа температури, яку вимірюють, °C		
		довгостроково		коротко-строкова
		от	до	
Платина – платинородий	ТПП	-20	1300	1600
Хромель – алюмель	ТХА	-50	1000	1300
Хромель – копель	ТХК	-50	600	800

Термопари виготовляють заглибного типу і поверхневі, герметичні і не герметичні, з різною довжиною частини, яку занурюють. ЕРС термопари порівняно невелика (0,01 – 0,06 мВ на 1°C), тому вимір за допомогою термопар доцільно робити при великій різниці температур холодного і робочого кінців термопари.

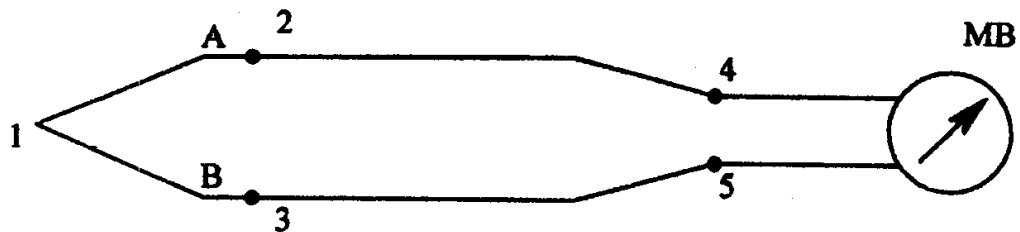


Рис. 2 - Схема вимірювання температури за допомогою термопари і мілівольтметра

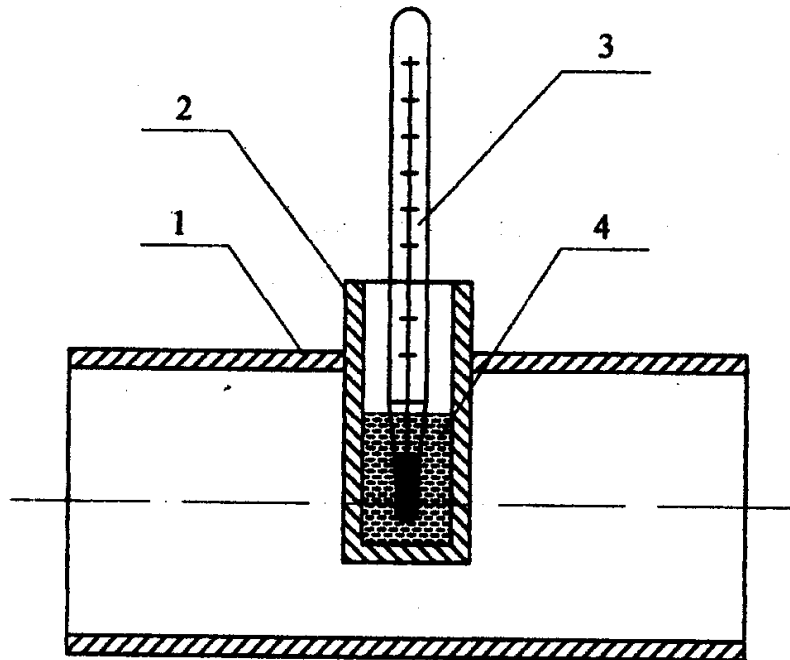


Рис. 3 - Схема встановлення термометра у трубопроводі:
1 - труба; 2 - гільза; 3 - термометр; 4 - мастило або інша рідина

Для вимірів у середньому діапазоні температур звичайно використовують мідь – константанові термопари. Залежність ЕРС, що виникає в термопарі, від різниці температур близька до лінійної, крім того, у батареї з n спаїв ЕРС зростає в n раз.

Термістори

Термістори, чи напівпровідникові термоопору, виготовляють із суміші окислів металів, а принцип їхньої дії заснований на властивості напівпровідників змінювати свій електричний опір відповідно до зміни температури. У напівпровідників з підвищенням температури опір зменшується приблизно за логарифмічним законом, що пояснює їхню найбільшу чутливість серед датчиків температури.

Щоб запобігти передачі теплоти від струмопровідних проводів до термістора, між ними і термістором роблять вставку з манганінового дроту, виходячи з того, що цей матеріал має невисокий коефіцієнт теплопровідності. Для захисту термісторів їх поміщають у металевий футляр і заливають бітумом чи іншим матеріалом.

Термістори (терморезистори) застосовують в термощупах, оскільки це зручно для обстеження теплотехнічного устаткування будинків.

Термограф

Це найпростіший прилад для виміру і запису змін температури в часі. Датчиком температури є біметалічна пластина, що змінює радіус вигину зі зміною температури навколишнього повітря. Запис зміни температури в ньому здійснюють на паперовій стрічці, що рухається з барабаном та обертається за допомогою годинникового механізму.

Реєстрацію температури ведуть в межах -45°C – $+55^{\circ}\text{C}$ з точністю до $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Тому термографи застосовують для загального контролю характеру зміни температури повітря приміщень при експлуатації систем опалення, вентиляції і кондиціонування. Прилади можуть виготовляти з добовим заведенням М-16С й тижневим М-16.

Лабораторна робота №2

Виміри температури термометрами розширення.

Визначення погрішності виміру

Мета роботи: одержати теоретичні й практичні навички вимірів температури за допомогою термометрів розширення; одержати навички визначення погрішностей вимірів.

Виміри температури

Для виміру температури робочого середовища в трубопроводі в останній уваривають термокарман (спеціальна гільза). Довжина зануреної частини термокарману має перевищувати половину діаметра труби. Термокарман охороняє термометр від руйнування.

При вимірі температури термометром розширення у термокарман заливають рідину так, щоб в неї була занурена кулька термометра. Показання термометра можна знімати через 10-15 хвилин після установа приладу, якщо в потоці чи спокійному середовищі протікає сталий процес.

Установка термометра опору, манометричного термометра і термопари аналогічна, але термокарман мусить мати нарізне сполучення для вкручення штуцера. При вимірі температури повітря в приміщеннях житлових і громадських будинків за розрахункову температуру внутрішнього повітря приймають його температуру, яку вимірюють термометром, що установлений на внутрішній стіні приміщення на висоті 1,5 м від підлоги і не ближче 1,5 м від зовнішньої стіни. Для вимірів термометр підвішують на внутрішній стіні, вставляють в нішу в дерев'яній планці на цій стіні чи спеціальній дерев'яній рейці, причому рівень установки має проходити через середину резервуара (кульки) термометра.

До всіх термометрів додають посвідчення (паспорта), в яких указують виправлення до їхніх показань, що залежать як від точності виготовлення термометрів, так і від умов, в яких проводять вимір.

До початку вимірів потрібно звірити термометри, які мають бути використані, з еталонними, врахувати всі виправлення, що зазначені у посвідченнях, і отримані в ході вимірів.

Термопари, термометри опору і термістори мають бути таровані.

При проведенні експериментів роблять 3-4 виміри через 10-15 хвилин на кожному режимі.

Обробка результатів виміру

Інформацію, що одержана безпосередньо з вимірювальних приладів (запису цифр, показання лічильників на стрічці і т.д.), називають *неопрацьованими даними*.

Оброблені дані – та ж інформація після виконання над нею деяких математичних операцій, наприклад, внесення коректив за допомогою тарувальних графіків, побудови кривих зв'язків залежних перемінних від незалежних.

При вимірах зустрічаються наступні *помилки*:

- *систематичні* – приладові помилки. Величина їх постійна, вони виникають унаслідок неточності приладів, крім того розповсюдженою причиною появ цих помилок є неправильна установка приладів (наприклад, установка мікроманометра не за рівнем);

- *випадкові* – вони не визначені за своєю природою, мають різні значення при однорідних вимірах і заздалегідь не можуть бути враховані;

- *промахи* – грубі помилки, що допускає експериментатор із суб'єктивних причин.

Систематичні помилки можна усунути шляхом калібрування чи ремонту приладів; промахи необхідно виключити з розгляду, а зменшення величини випадкових помилок досягають повторенням експериментів.

За ймовірне значення вимірюваної величини приймають її середньоарифметичне значення:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2)$$

де x_i – результати i -го виміру;

\bar{x} – середньоарифметичне значення;

n – кількість вимірів.

Помилки окремих вимірів визначають як різницю між середньоарифметичним і значенням даного виміру:

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i. \quad (3)$$

Точність вимірів виражають середньоквадратичним відхиленням σ (чи дисперсією σ^2):

$$\sigma = k \sqrt{\frac{\Delta x_1^2 + \Delta x_2^2 + \dots + \Delta x_n^2}{n-1}} = k \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n-1}}, \quad (4)$$

де k – числовий коефіцієнт, що залежить від числа вимірів (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Залежність коефіцієнта k від числа вимірів

n-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	1,000	0,816	0,756	0,741	0,727	0,718	0,711	0,706	0,703	0,700

Корисно пам'ятати, що максимальна помилка дорівнює половині найменшої поділки на шкалі приладу.

Дійсне значення шуканої величини лежить у межах $\bar{x} - \Delta x$ і $\bar{x} + \Delta x$. Інтервал, що обумовлений цими межами, називають довірчим інтервалом. Задана імовірність попадання вимірюваної величини в цей інтервал визначає його ширину. За невеликої кількості дослідів для визначення довірчого інтервалу використовують коефіцієнт Стюдента:

$$t_\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta S_x}, \quad (5)$$

де t_α – коефіцієнт Стюдента, що залежить від вибору надійності P й числа дослідів

$$\Delta S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2}{n-1}}. \quad (6)$$

Для лабораторних робіт при невеликих кількостях дослідів приймають $P=0,95$. Для цієї величини P в таблиці 2.2 дані значення коефіцієнта Стюдента в залежності від числа дослідів.

Таблиця 2.2 – Залежність коефіцієнта Стюдента від величини Р

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	500 ($\approx \infty$)
t α	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3	1,96

Погрішність результатів вимірів дорівнює:

$$\Delta x = t_{\alpha} \Delta S_x . \quad (7)$$

Отримане значення погрішності результатів вимірів потім порівнюють з величиною погрішності приладу.

Якщо погрішність виміру менше значень погрішності приладу, то остання визначає і помилку остаточного результату вимірів.

Якщо погрішність виміру порівнянна з погрішністю приладу, то межі довірчого інтервалу знаходять за формулою:

$$\Delta x = \sqrt{t_{\alpha}^2(n) \Delta S_x^2 + \left(\frac{k_{\alpha}}{3}\right)^2 \delta^2} , \quad (8)$$

де δ – погрішність приладу

$$k_{\alpha} = t_{\alpha}(\infty) = 1,96 . \quad (9)$$

Якщо ж погрішність вимірів істотно більше помилки приладу, то потрібно збільшити число спостережень. Тоді остаточний довірчий інтервал значень вимірюваної величини дорівнює:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x . \quad (10)$$

Для порівняння вимірів вводять відносну погрішність:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% . \quad (11)$$

Опис установки

Схема установки термометрів розширення на трубопроводах наведена раніше (рис. 3). На апаратах і трубопроводах термокарман, як правило, розміщують у верхній частині чи під кутом.

Необхідно установити термометри розширення для вимірів температури середовища в апараті, трубопроводі і повітрі в приміщенні. Для роботи необхідні термометри з ціною поділки 0,1; 0,2; 0,5 і 1 °С.

Порядок виконання роботи

Виконують 3-4 виміри на кожному режимі через 10-15 хвилин кожним термометром. При обробці результатів вводять виправлення заводу - виготовлювача для даного термометра; результати записують у таблицю довільної форми. Після цього проводять визначення помилок вимірів для кожної серії експериментів.

Лабораторна робота №3

Засоби виміру тиску

Мета роботи: вивчити основні прилади для виміру тиску рідини і газів.

Вимірювальні прилади

Тиск – це сила, що діє на одиницю площі поверхні по нормалі до неї.

Абсолютний тиск $P_{\text{абс}}$ є термодинамічним параметром, що дорівнює сумі барометричного (атмосферного) тиску $P_{\text{б}}$ і манометричного (надлишкового) тиску $P_{\text{м}}$.

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{б}} + P_{\text{м}} \quad (12)$$

Якщо тиск середовища менше атмосферного, то різниця між барометричним і абсолютним тиском називають вакуумом (вакуумметричним тиском). Вакуумметричний тиск $P_{\text{вак}}$ дорівнює:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{б}} - P_{\text{абс}}. \quad (13)$$

Зв'язок між різними одиницями виміру тиску наведений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Зв'язок одиниць тиску в системі СІ з деякими іншими системами виміру

Одиниці тиску	Па	бар	кгс/м ²	кгс/см ²	мм рт. ст.	мм вод. ст.
Па	1	10 ⁻⁵	0,1	~10 ⁻⁵	0,0075	~0,1
бар	10 ⁵	1	~10 ⁶	~1	~750	~10200
кгс/м ²	~10	~10 ⁻⁶	1	~10 ⁻⁴	0,0735	~1
кгс/см ²	~10 ⁵	~1	10 ⁴	1	~735	10 ⁴
мм рт. ст.	133,3	1,33*10 ⁻³	~13,6	1,36*10 ⁻³	1	13,6
мм вод. ст.	~10	10 ⁻⁴	~1	10 ⁻⁴	0,0735	1

Для виміру тиску застосовують різні прилади. Опис найбільш розповсюджених з них приведений нижче.

Манометри загального призначення є самими розповсюдженими в практиці експлуатації приладів. Дія їх заснована на зміні кривизни одновиткової трубчастої пружини в залежності від внутрішнього тиску.

Ці прилади випускають з межами виміру від 0 до 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25 і 40 кг с/см².

Випускають два типи манометрів: ОБМ із приєднанням вхідного штуцера до корпусу знизу і МОШ – штуцер у задній кришці.

Цими манометрами вимірюють тиск рідини і газів у трубопроводах і судинах, що працюють під тиском. Манометри приєднують до труб і апаратів через триходовий кран.

Манометри необхідно підбирати так, щоб передбачувана величина тиску знаходилася у верхній третині їхньої шкали. Щорічно манометри мають проходити перевірку в спеціальних організаціях. Дату перевірки вказують на пломбі.

Перед використанням приладу варто зробити зовнішній огляд і переконатися, що прилад не має осередків корозії, ушкоджень скла і корпусу. перевіряють нульову точку – стрільця манометра має бути без навантаження впирається в штифт.

Манометри і вакуумметри пружинні зразкові

Принцип дії їх аналогічний технічним манометрам. Позначення манометрів зразкових МО, вакуумметрів – У. Межа виміру тиску манометрами від 1,0 до 600 кгс/див² (надлишкових).

Манометри і вакуумметри показуючи аміачні

Ці манометри також мають чутливий елемент у вигляді порожньої трубчастої пружини. Відрізняються від звичайних манометрів тим, що поряд зі звичайною шкалою тиску мають і температурну шкалу, що відповідає стану насиченого аміаку при даному тиску.

Мембранні манометри

ТАКІ манометри як чуттєвий елемент мають гофровану пружну пластинку – мембрану, що під впливом надлишкового тиску прогинається. Ці манометри застосовують, головним чином, для виміру невеликих тисків.

На даний час найбільшого поширення одержали сильфонні манометри, що мають як чутливий елемент гармонікову мембрану.

Електроконтактні манометри

На шкалі вони мають два рухливих електричних контакти, що забезпечують дистанційну передачу сигналу про досягнення заданого тиску.

Ці прилади широко застосовуються в системах диспетчерського контролю. Наприклад, їх встановлюють в теплових пунктах житлових і громадських будинків на зворотній магістралі гарячої води. Сигнал від такого манометра допомагає запобігти спорожнюванню системи - при тиску нижче мінімального і руйнування опалювальних приладів - при досягненні гранично припустимої величини тиску.

Диференціальні манометри

Це рідинні U-образні, кільцеві, поплавкові, дзвонові прилади, що являють собою дві сполучені посудини, що заповнені робочою рідиною: ртуттю, водою, олією і т.п. Принцип їхньої дії заснований на компенсації тиску гідростатичним стовпом рідини.

Звичайно ці прилади застосовують для виміру перепаду тисків на ділянці труби, повітроводу, у апаратах чи інших елементах різних установок і систем.

На зазначеному принципі працюють мановакуумметри, U-образна трубка яких заповнюється водою (мм вод. ст.) чи ртуттю. Їх застосовують для виміру невеликих значень надлишкового, вакуумметричного тисків чи перепадів тиску. Прилади випускають з межею виміру від 100 до 1000 мм стовпа рідини.

Мікроманометри

Принцип їхньої дії заснований на компенсації тиску гідростатичним стовпом рідини, що заповнює резервуар і з'єднану з ним скляну трубку, що має шкалу в мм.

Мікроманометри призначені для вимірів надлишкового і вакуумметричного тисків і різниці тисків у системах вентиляції і кондиціонування повітря.

Мікроманометри з постійним кутом нахилу трубки називають тягонапіромірами.

Сигнальні манометри

Застосовують як безшкальні прилади з індукційним датчиком для дистанційної передачі показань, що відтворюють тиск і, крім цього, мають трьохпозиційний сигнальний пристрій.

Барометри

Ці прилади призначені для виміру тиску атмосферного повітря, в яких чутливим елементом служить сильфона коробка, заповнена спеціальним газом. Звичайно, барометри показують тиск у мм рт. ст., але можуть і в Па, та інших одиницях виміру.

Для запису показань зміни тиску в часі застосовують барографи.

Лабораторна робота №4

Повірка пружинного манометра

Мета роботи: ознайомитися з пристроєм пружинного манометра, з методами його повірки, провести повірку цього манометра.

Повірка засобів виміру

Повірка – сукупність дій, що вироблені з метою оцінки погрішності засобів виміру та встановлення їхньої придатності до застосування.

Зрівняння мір, чи вимірювальних приладів – різновид повірки, при виконанні якої виробляється порівняння двох мір чи показань двох вимірювальних приладів. У більшості випадків зрівняння виконують як порівняння засобів виміру з еталонним чи зразковим засобом виміру для визначення погрішності.

Градуювання засобів виміру – нанесення оцінок на шкалу чи визначення значень вимірюваної величини, що відповідають уже нанесеним умовним оцінкам.

Прилади й устаткування для повірки манометрів

Принцип дії пружинних манометрів заснований на використанні пружних властивостей різного виду пружин. У них використовують одновиткові трубчасті, багатовиткові (гелікоїдальні) трубчасті, пластинчасті (мембрани) і гармонікоподібні пружини (сильфони). Пружинні манометри відрізняються простотою

пристрою, великими межами вимірів, можливістю передачі даних на відстань і автоматичний запис показань.

Манометри з трубчастою пружиною (рис. 4) мають чуттєвий елемент у вигляді зігнутої по колу на кут 200° - 270° (трубки 4 овальний чи еліптичний перетини (пружина Бурдона). Один кінець трубки закритий, а до іншого через спеціальний штуцер підводять вимірюваний тиск P . Трубка за допомогою підводки 5 з'єднана з зубцюватим сектором 1, що повертається на осі 6. Від сектора обертання передається маленькій шестірні 2, на осі якої закріплена стрілка, що показує, 3.

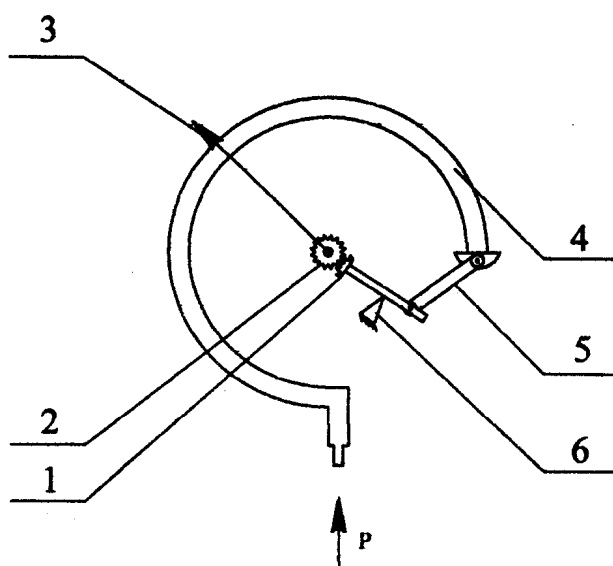


Рис. 4 - Принципова схема манометра з трубчастою пружиною

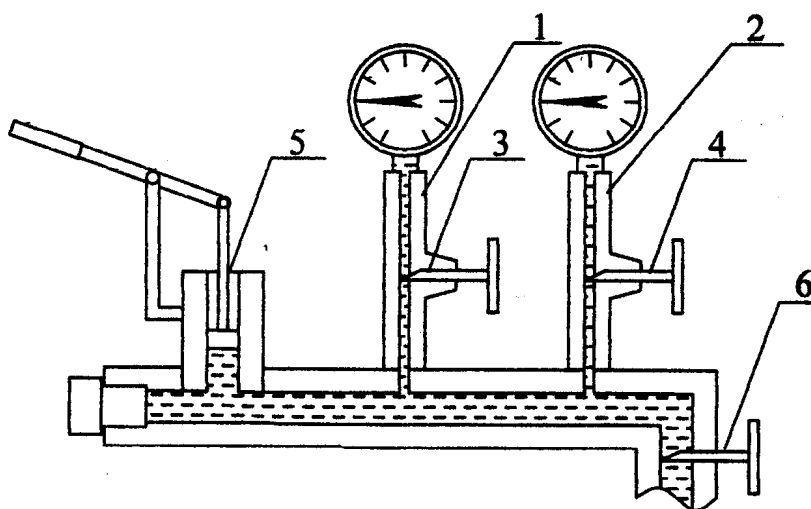


Рис. 5 – Зразковий вагопоршневий манометр МП-60

При підвищенні тиску P усередині трубки вона розпрямляється і її вільний кінець переміщається нагору, у такий спосіб переміщення кінця трубки служить мірою тиску всередині неї. Трубчаста пружина тим дошкульніша, чим більший радіус її кривизни R і менша товщина стінок трубки. Пружина круглого перетину практично не чутлива до зміни тиску, оскільки її поперечний переріз практично не деформується під впливом тиску.

Для перевірки робочих приладів тиску широко використовують зразкові пружинні манометри серії МО, кругова шкала яких має 100 умовних одиниць. Для перевірки використовують різне устаткування і пристрої для стиску газу і рідини, подачі їх з необхідним тиском до приладів, які перевіряють, і паралельно підключеним зразковим приладам, що вимірюють тиск.

Одним з найбільш розповсюджених приладів для перевірки манометрів пружинних є вагопоршньові манометри типу МП-60 (рис. 5). Перевірку проводять у такий спосіб: у штуцер 1 угвинчують манометр, який повіряють, а в штуцер 2 – зразковий манометр. Манометр МП-60 заповнюють рідиною (спеціальна олія, або інша сертифікована рідина), відкривають вентилі 3 і 4, а за допомогою поршневої групи 5 піднімають тиск. За допомогою вентиля 6 відбувається скидання тиску із системи.

Перевірку манометра проводять у п'ятих точках шкали – 10, 30, 50, 70 і 100% при прямому і зворотному ходах манометра (при зростанні й убутанні тиску). При досягненні верхньої граничної точки шкали манометр, який повіряють, витримують під цим тиском 5 хвилин для іспиту манометра на залишкову деформацію манометричної пружини. На кожній точці шкали, яку повіряють, після відліку показань роблять повторний відлік після легкого постукування по корпусі манометра. Стрибкоподібне переміщення стрілки при струсі приладу вказує на наявність зазорів чи надмірного тертя в його передавальному механізмі.

За результатами перевірки підготовляють відповідний протокол.

Протокол повірки

Манометр, що повіряється, № _____, тип манометра _____, межа вимірів від _____ до _____ кгс/см² (МПа), ціна поділки кгс/см² (МПа), клас точності _____.

Показання зразкового приладу, кгс/см ²	Показання манометра, який повіряється		Абсолютна погрішність, кгс/см ²		Приведена погрішність, кгс/см ²		Варіація
	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	Прямий хід	Зворотний хід	
1	2	3	4	5	6	7	8

Висновок про придатність до експлуатації: _____.

Повірку робив _____ (підпис) _____ (І. по Б. Прізвище)

Абсолютну погрішність приладу, який повіряють, оцінюють як різницю між його показанням і показанням зразкового приладу та визначають за формулою:

$$\Delta P_{\text{пов}} = P_{\text{пов}} - P_{\text{обр}}. \quad (14)$$

Приведена погрішність манометра, який повіряють, дорівнює відношенню абсолютної погрішності манометра, який повіряють, до його верхньої межі вимірів:

$$\gamma_{\text{пов}} = \pm \frac{100 \Delta P_{\text{пов}}}{P_{\text{верх. пред.}}}. \quad (15)$$

Варіацію манометра, який повіряють, визначають як різницю між показаннями манометра при прямому і зворотному ходах.

Лабораторна робота № 5

Визначення коефіцієнта теплопередачі теплообмінника

Мета роботи: освоєння методів експериментального й аналітичного визначення коефіцієнтів теплопередачі.

Методика і порядок виміру

Установити стаціонарний температурний режим. Характеристикою цього режиму є незначні коливання температури теплоносіїв.

Зняти через 1-2 хвилини не менше 10 показань температури холодного теплоносія (t'_x і t''_x на вході термометр ТІ 31 і виході з теплообмінника термометр ТІ 30 - відповідно), гарячого теплоносія (t'_r і t''_r на вході термометр ТІ 1 і виході з теплообмінника термометр ТІ 12 - відповідно) рис. 6.

Витрати холодного теплоносія G_x (м³/с) визначити за допомогою витратоміра FQI-29.

Обробка результатів спостережень

Для визначення коефіцієнта теплопередачі теплообмінника (на рис. позначено ТО54) використовують основне рівняння теплопередачі:

$$Q = k F \Delta t_{\text{ср.л.}}, \quad (16)$$

де Q – кількість теплоти, що одержує холодний теплоносій від гарячого, Вт;

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м² К);

F – площа теплопередачі теплообмінника, м² (0,2 м²);

$\Delta t_{\text{ср.л.}}$ – середньологарифмічний температурний напір, К.

$$\Delta t_{\text{ср.л.}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{2,303 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (17)$$

де Δt_{δ} і $\Delta t_{\text{м}}$ – найбільший і найменший температурний перепад, який знаходяться на діаграмі зміни температур у підігрівнику.

З рівняння теплопередачі випливає, що

$$k = \frac{Q}{F \Delta t_{\text{ср.л.}}}. \quad (18)$$

Тепловий потік у теплообміннику визначають з рівняння:

$$Q = G_x c (t''_x - t'_x); \quad (19)$$

де G_x – витрата холодної води, кг/с;

$c=4,19$ кДж/(кг К) – питома масова теплоємність води.

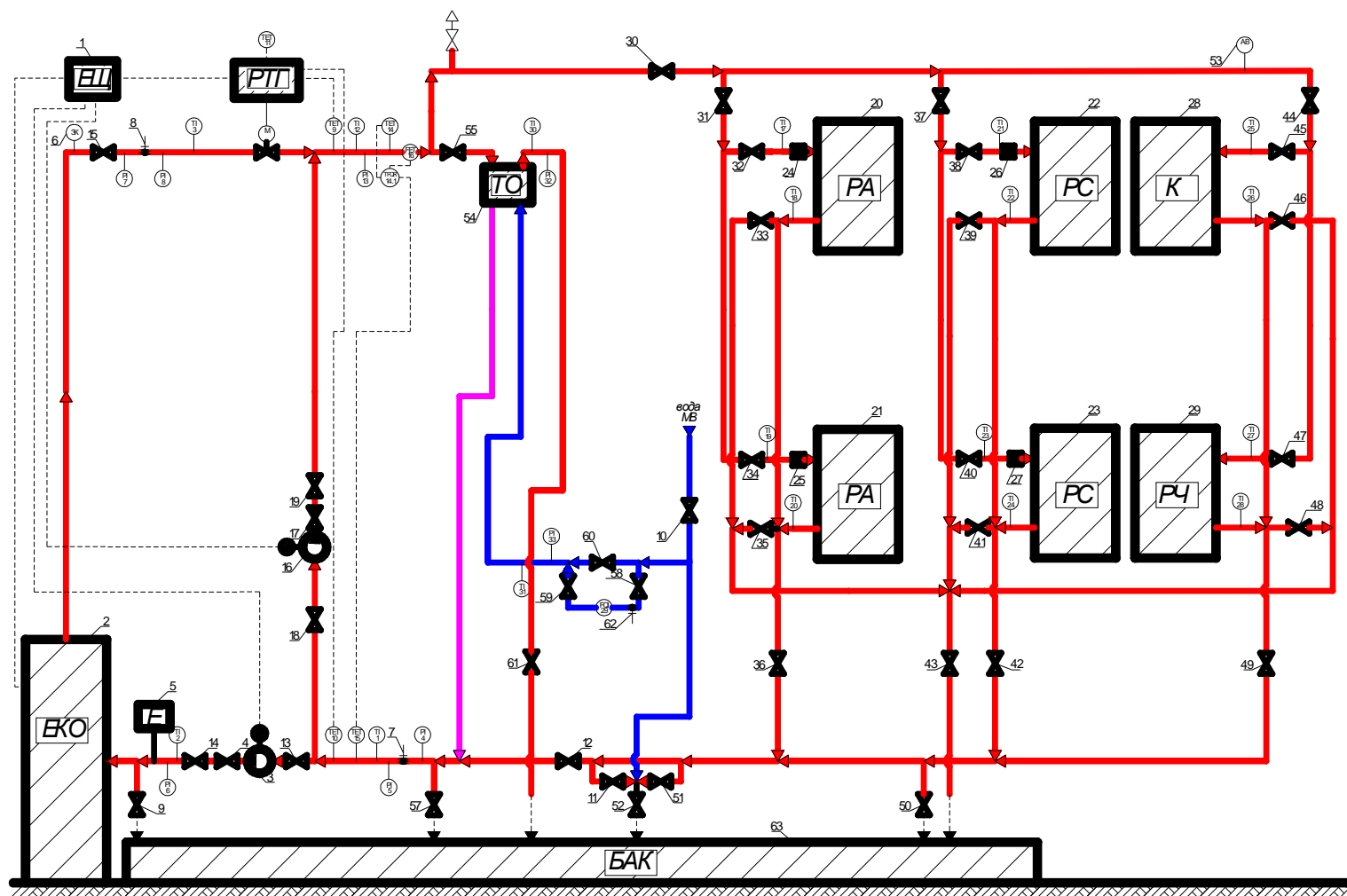


Рис. 6 – Принципова схема лабораторного стенду систем тепlopостачання, опалення та гарячого водопостачання

Аналітичне вираження для розрахунку коефіцієнта теплопередачі за табличними даними теплофізичних властивостей води має вигляд:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (20)$$

де α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі, що віднесені до внутрішньої і зовнішньої сторін пластини, відповідно, Вт/(м² К);

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/(м К).

Коефіцієнт тепловіддачі визначається з критеріальних рівнянь:

- для холодної рідини, що рухається всередині теплообмінника:

$$Nu_1 = 0,157 Re_1^{0,73} Pr_1^{0,4}, \quad (21)$$

де Re – критерій Рейнольдса, який знаходять за формулою $Re = \frac{\omega_1 d_1}{\nu_1}$, а ω_1 –

швидкість рідини між пластинами, м/с; d_1 – відстань між пластинами, або еквівалентний діаметр ($d_1 = 0,00885$ м).

$$\omega_1 = \frac{G_x}{3600 f_{mp}}, \quad (22)$$

де f_{mp} – площа перетину каналу, яким протікає рідина, м² ($f_{mp} = 0,0064$ м²).

Критерій Прандтля (табл. 5.1), або за формулою:

$$Pr_1 = \frac{\nu_1}{a_1}, \quad (23)$$

$$Nu = \frac{\alpha_1 d_1}{\lambda_1} \quad (24)$$

Звідкіля

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{d_1} Nu_1 \quad (25)$$

- для гарячої води:

$$Nu_2 = 0,157 Re_2^{0,73} Pr_2^{0,4}, \quad (26)$$

де $Re = \frac{\omega_2 d_{\text{экв}}}{\nu_2}$, а $\omega_2 = \frac{G_z}{\gamma_2 f_{mnp}}$,

де f_{mnp} – площа перетину каналу, яким протікає рідина, м² ($f_{mnp} = 0,0064$ м²);

γ_2 – питома вага гарячої води, кг/м³;

G_2 – масова витрата гарячого теплоносія (кг/с), що знаходиться з рівняння теплового балансу:

$$Q = G_1 c_1 (t_1' - t_1'') = G_2 c_2 (t_2'' - t_2'). \quad (27)$$

Звідкіля $G_2 = \frac{G_1 c_1 (t_1' - t_1'')}{c_2 (t_2'' - t_2')}$, якщо в трубі та в міжтрубному просторі рухається рідина з однаковими властивостями (наприклад, вода), то c_1 і c_2 скорочуються:

$$Pr_2 = \frac{v_2}{a_2}; \quad \alpha_2 = \frac{\lambda_2}{d_{\text{эк}}} Nu_2. \quad (28)$$

Теплофізичні параметри води беруть з таблиці 5.1 за середньою температурою теплоносія.

Таблиця 5.1 – Теплофізичні параметри води

$t, ^\circ$	$\rho,$ кгс/см ²	$\gamma,$ кгс/м ³	$c_p,$ кДж/(кг К)	$\lambda \cdot 10^2,$ Вт/(м К)	$a \cdot 10^8,$ м ² /с	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	Pr
1	2	3	4	5	6	7	8
0	1,033	999,9	4,217	0,5610	13,1	1,789	13,67
10	1,033	999,7	4,193	0,5800	13,7	1,306	9,52
20	1,033	998,2	4,182	0,5984	14,3	1,006	7,02
30	1,033	995,7	4,179	0,6154	14,9	0,805	5,42
40	1,033	992,2	4,179	0,6305	15,3	0,659	4,31
50	1,033	988,1	4,182	0,6435	15,7	0,556	3,54
60	1,033	983,2	4,185	0,6543	16,0	0,478	2,98
70	1,033	977,8	4,190	0,6631	16,3	0,415	2,55
80	1,033	971,8	4,197	0,6700	16,6	0,365	2,21
90	1,033	965,3	4,205	0,6753	16,8	0,326	1,95
100	1,033	958,4	4,216	0,6791	16,9	0,295	1,75
110	1,459	951,0	4,233	0,6850	17,0	0,272	1,60
120	2,02	943,1	4,240	0,6860	17,1	0,252	1,47

Список джерел

1. Маляренко В.А., Редько А.Ф., Чайка Ю.И., Поволочко В.Б. Техническая теплофизика ограждающих конструкций, зданий и сооружений. Уч. пособие. - Х.: "Рубікон", - 2001, 280 с.
2. ГОСТ 215-73. Термометры ртутные стеклянные лабораторные.
3. ГОСТ 2823-73. Термометры стеклянные технические.
4. ГОСТ 9177-74. Термометры стеклянные жидкостные (не ртутные).
5. ГОСТ 8624-71. Термометры манометрические ГСП.
6. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Госстройиздат, 1975.
7. ГОСТ 12.3.018-79. Системы вентиляции. Методы аэродинамических испытаний. – М.: ГОСКОМ СССР по стандартам, 1979. – 11 с.
8. Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлические сопротивления трубопроводов. – М.: Изд-во лит-ры по стр-ву. 1964.
9. ГОСТ 8625-77. Манометры избыточного давления, вакуумметры и мановакуумметры показывающие. Основные параметры и размеры.
10. ГОСТ 6521-72. Манометры и вакуумметры пружинные образцовые.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення лабораторних робіт
з дисципліни

"ТЕПЛОТЕХНІКА"

(для студентів 3 курсу денної форми навчання напряму 6.060101 "Будівництво"
спеціальності "Міське будівництво і господарство").

Укладач: **ШУШЛЯКОВ** Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск *Г. А. Усик*

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 18 М

Підп. до друку 25.11.2010

Друк на різнографі

Зам.

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 1,5

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011р.